

SOLICITUD DE PATENTE DE MODELO DE UTILIDAD

BIOFILTRO MODULAR PARA TRATAMIENTO DE AGUAS.

SECTOR TÉCNICO

El presente modelo de utilidad se encuentra en el campo de la ingeniería, en particular se refiere a sistemas de filtración al divulgar un filtro modular de flujo mixto para el tratamiento de aguas con material de origen vegetal, en donde el filtro comprende niveles en cascada, desbordamiento, espejos de agua, flujo laminar y monitoreo en tiempo real para variables fisicoquímicas.

CAMPO DE LA INVENCION

El presente modelo de utilidad se refiere a un filtro modular de flujo mixto para el tratamiento de aguas que incluye material de origen vegetal como lecho filtrante, el cual se obtiene a partir de desechos agroindustriales propios del territorio. Adicionalmente, el biofiltro así construido de la presente invención, incluye niveles en cascada, desbordamiento, espejos de agua, flujo laminar y monitoreo en tiempo real para variables fisicoquímicas.

De acuerdo al presente modelo, un biofiltro consiste de un sistema que imita los humedales naturales, donde las aguas residuales son tratadas mediante procesos connaturales. Los biofiltros están diseñados para maximizar la eliminación de contaminantes que se encuentran en dichas aguas. Así mismo, son cuencas poco profundas llenas de un material que sirve como medio filtrante (AGUASRESIDUALES.INFO, 2014).

Entre las tecnologías utilizadas en el mundo para el tratamiento de aguas residuales los humedales artificiales ocupan un lugar importante ya que con ellos se busca aprovechar las ventajas físicas, químicas y biológicas que ocurren cuando el agua interactúa entre sí con el medio filtrante; esto implica la exclusión de sólidos en suspensión por sedimentación y filtración. Estos módulos para el tratamiento de aguas residuales resulta ser una solución bastante viable y económica (Arias Etal., 2010)

El desarrollo agroindustrial y las actividades relacionadas tienen la capacidad de generar grandes volúmenes de material residual, debido a factores como la disposición inadecuada y la carencia de mecanismos de aprovechamiento, por lo cual se han explorado mecanismos que permitan mitigar estos impactos a través de

iniciativas y planes de reutilización y transformación de su naturaleza aportando a su gestión y agregando valor a este subproducto (Cavalcanti et al., 2021)

El crecimiento del sector agroindustrial y el desarrollo de nuevos productos que surgen a través de este ha provocado un aumento en el interés de algunas materias primas y del mismo modo ha incrementado la producción de residuos, entre los diferentes tipos se encuentran los provenientes de la industria del asaí, misma que ha crecido desde los años 90 a causa de sus múltiples beneficios a nivel de salud (Lustosa et al., 2022), sin embargo aumentar la producción de pulpa de asaí también implica incrementar el volumen de residuos, lo que afecta a la población local, debido a una la eliminación irregular en los ambientes urbanos (Negrão et al., 2021) llegando a producir alrededor de 1,1 millones de toneladas métricas de residuos acumulados anualmente en la región amazónica de las 1.274.000 toneladas métricas que se procesan, esto debido a su composición de la cual su semilla corresponde al 85% del peso del fruto (Monteiro et al., 2019), a grandes rasgos la baya se compone de dos partes principales, la pulpa que equivale al 32% y la semilla fibrosa que representa el 68% (Mendes et al., 2019)

La semilla de asaí (*Euterpe precatoria*) dispone de un contenido total de fibra del 36,26% - 36,29% (Barrera et al., 2020; Guerra, 2021), por tal razón este material ha sido objeto de estudio, ya que su implementación en diversas matrices ha representado una oportunidad para el diseño de materiales biodegradables y de hormigón; como su implementación en la elaboración de material textil con una matriz de almidón de mandioca (Paiva et al., 2021), desarrollo de morteros y compuestos cementosos que incluyen fibra de asaí en su composición como material de refuerzo ofreciendo mejores propiedades mecánicas como el aumento de la resistencia a la compresión y disminución en la absorción de agua (Marvila et al., 2020, Azevedo et al., 2021).

No obstante, se deben superar ciertos retos en el diseño de estos materiales para su implementación en diferentes usos, como lo es la naturaleza hidrófila de los

biomasa lignocelulósica que afecta su capacidad de adherencia, de resistencia a la compresión y su posibilidad de generar cambios dimensionales (Da Costa et al., 2020).

ANTECEDENTES

En los últimos años el recurso hídrico de la Amazonía colombiana en el Departamento del Putumayo como parte de los reservorios de carbono más grandes del mundo, se ha visto afectado por el incremento de las actividades piscícolas, el cual tiene alta incidencia económica pero también afectación en la calidad del agua por contaminación de nitritos (NO^2), nitratos (NO^3), Amonio (NH^4+), Fósforo total (PT), oxígeno disuelto, dureza, alcalinidad, fosfatos, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), DQO, Coliformes totales y posibles metales a monitorear como plomo, mercurio y cadmio.

El uso de materiales que son subproductos de los procesos agroindustriales pueden servir como elemento base de la biorremediación del agua, permitiendo de este modo resolver problemas como:

- Conservación de recursos naturales
- Biorremediación de aguas contaminadas a través de técnicas de filtración
- Aprovechamiento material agroindustrial que es generado como residuo en la cadena productiva

En cuanto a esto, algunos de los desarrollos observados para el tratamiento de aguas provenientes de servicios agroindustriales o de la industria petroquímica en este caso, se divulgan en el documento de patente GB1516673 *titulado “Process For The Purification Of Waste Water”* el cual se refiere a purificación de aguas residuales mediante lodos activados mediante un proceso continuo para purificar agua contaminada, incluidos sólidos e hidrocarburos. Dicho método utiliza los tratamientos de proceso secuenciales de: (i) ajuste de las condiciones del agua en un zona de ecualización para igualar las condiciones de los contaminantes de manera que las concentraciones de contaminantes permanezcan sustancialmente

constantes y para asegurar el nivel necesario de oxígeno disuelto, (ii) degradación biológica en una zona de tratamiento biológico de múltiples etapas, proceso de lodos activados; y (iii) eliminación de sólidos biológicos residuales presentes que puedan afectar la claridad del agua o afectar negativamente el sabor y el olor del agua, filtrándose el agua de la zona de ecualización para que no contenga más de diez partes de sólidos suspendidos o hidrocarburos por millón de partes de agua antes de la primera etapa del proceso de lodos activados de múltiples etapas, y una porción del lodo que se recicla a la primera etapa del proceso de lodos activados de múltiples etapas. El proceso es especialmente adecuado para tratar aguas residuales de refinerías de petróleo y plantas químicas donde se pueden mezclar los dos efluentes.

Por su parte, e incorporando material vegetal en el proceso, en 1980 se presentó la solicitud "*Humedal Artificial De Flujo Horizontal Bajo Superficie Para Tratamiento De Aguas Residuales*", con número de publicación 02035632, el cual consiste de un Humedal artificial construido para el tratamiento de aguas residuales con flujo horizontal bajo superficie, que comprende: una zona de entrada de aguas residuales para tratamiento, una zona de evacuación de aguas residuales ya tratadas, para reutilización, un área excavada a cierta profundidad y con cierta pendiente con un contorno particularmente rectangular contenedora del líquido residual del tratamiento, un fondo de dicha área cubierto con una geomembrana sintética y una capa de arena sobre la misma. Así mismo comprende un lecho filtrante de piedra de canto rodado, una capa o malla filtrante de material sintético sobre dicho lecho de piedra, un elemento de biomasa disperso en el contenido líquido un manto vegetal flotante sobre la superficie del humedal y tuberías de entrada y salida del líquido hacia y desde el humedal.

Otros desarrollos que involucran material vegetal y de relevancia para la presente invención, incluyen la publicación colombiana 13267076 que se refiere una planta para tratamiento de aguas residuales, específicamente, a una planta modular para

tratamiento de aguas residuales orgánicas, en donde la cantidad de equipos está en función de la cantidad de agua a tratar y de la calidad del agua de entrada y la requerido para el agua al final del proceso. Dicha planta para tratamiento está integrada por Múltiples equipos en donde cada equipo representa una etapa de tratamiento y los equipos pueden estar conectados en serie o en paralelo o ambos.

Por otro lado, el tratamiento de aguas de forma modular ha tenido igualmente desarrollos importantes, tal como el desarrollo de la publicación colombiana 08002502 titulada *Planta Para El Tratamiento De Agua Residual En Fases Alternas*, la cual se refiere a un panel de apuntalamiento para un dispositivo de alcantarillado, que consta de un marco formado por perfiles extremos verticales y perfiles de cordón horizontales y un relleno dispuesto en este marco, que está formado por perfiles huecos verticales que se combinan en paquetes y se presionan entre sí por tirantes horizontales.

Dichos ejemplos, si bien permiten identificar que existen diferentes métodos complejos en términos de diseño y requerimientos de materiales que son contemplados por la presente invención, dejan entrever que aún existe la necesidad de proveer un sistema de filtración modular que permita emplear el flujo de agua mixto para, de forma sorprendente, realizar filtración a aguas provenientes de desechos agroindustriales y al mismo tiempo emplear material vegetal de deshecho como medio filtrante.

Por lo tanto, la presente invención se diferencia de todo lo revelado previamente al diseñar un biofiltro que permite emplear diferentes fuentes de material vegetal proveniente de procesos agroindustriales como lecho filtrante, dando un aprovechamiento secundario a dicho material y al mismo tiempo ofreciendo al sistema la posibilidad de utilizarlo, en lugar de materiales más costosos o con requerimientos adicionales en cuanto a transporte y procesamiento para su implementación. Adicionalmente el sistema puede ser escalado según la carga y el caudal requerido a tratar.

DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

Figura 1: Biofiltro modular de flujo mixto con cuatro módulos secuenciales y un espejo de agua en donde las flechas permiten identificar el flujo del agua a través del filtro cuando se encuentra en actividad.

Figura 2: Vista Isométrica de la estructura del biofiltro modular de flujo mixto.

Figura 3: Vista lateral y detalles de la estructura del biofiltro modular de flujo mixto.

Figura 4: Vistas isométrica, lateral y frontal del biofiltro modular de flujo mixto con dimensiones evaluadas del biofiltro que permiten su escalamiento a nivel industrial.

Figura 5: Pruebas realizadas para el material orgánico granular, seleccionando el chontaduro para el módulo (2) y composición del medio filtrante en el módulo (1)

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

El biofiltro modular de flujo mixto del presente modelo de utilidad, de acuerdo con la figura 1, consta de cuatro módulos secuenciales que trabajan de manera integrada para reducir la turbulencia, mejorar el flujo del agua y optimizar el proceso de filtración. Cada módulo tiene una función específica en la purificación del agua residual, permitiendo la sedimentación de sólidos, la reducción de contaminantes y la acumulación de material orgánico en su lecho filtrante.

Módulo 1: Desaceleración y reducción de turbulencia

Como se observa en las figura 2 y 3, el primer módulo (1) está diseñado para desacelerar el flujo y reducir la turbulencia del agua que ingresa al sistema. El agua proveniente de desechos agroindustriales entra por una ranura (111) que dirige el flujo hacia el compartimiento (11) con un volumen aproximado de 5.981,25 cm³. El agua fluye de este compartimiento al compartimiento (12) con un volumen aproximado de 6.697,5 cm³ a través de un conducto (112) ubicado en la parte inferior izquierda de la pared divisoria. A continuación, el agua pasa del compartimiento (12) al compartimiento (13) con un volumen aproximado de 6.932,5 cm³ mediante un segundo conducto (121) situado en la parte inferior derecha, y finalmente fluye hacia el compartimiento (14) con un volumen aproximado de 6.932,5cm³ a través de un tercer conducto (131) en la base del compartimiento (13), ubicado en la esquina inferior izquierda.

Los compartimientos están dispuestos de manera escalonada para garantizar un flujo descendente constante, lo cual se asegura mediante las conexiones entre los

compartimientos a través de los conductos (112, 121 y 131). Este flujo se ve facilitado por perforaciones estratégicas que optimizan la circulación del agua.

Cuando el agua alcanza el nivel máximo en el compartimiento (14), se produce un desbordamiento sobre la pared (141), transfiriendo el agua al segundo módulo. El lecho del primer módulo está compuesto por material granulado, con piedras que disminuyen de tamaño, de 4 cm a 1,5 cm, a medida que se desplazan hacia el fondo de los compartimientos.

Módulo 2: Espejo de agua y filtración orgánica

El agua ingresa al módulo de espejo de agua y filtración orgánica (2) por el desbordamiento de la pared (141), entrando en el compartimiento (21) volumen aproximado de 6.411,79 cm³, que funciona como un espejo de agua. Este compartimiento está delimitado por una pared vertical (141) y una pared inclinada (211). Al llenarse el compartimiento (21), el agua fluye hacia un canal (22) formado por las paredes inclinadas y paralelas (211 y 221), desembocando finalmente en el contenedor (23) volumen aproximado de 22.199,93 cm³.

Desde el contenedor (23), el agua fluye hacia el contenedor (25) volumen aproximado de 20.685 cm³ a través de una ranura (24) ubicada en la base de la pared (241). En los contenedores (23) y (25), el lecho filtrante está compuesto por grava y residuos de material granular orgánico, con un 30% de material orgánico. Este lecho contribuye a la filtración biológica del agua. Una vez que el contenedor (25) está lleno, el agua desborda hacia el siguiente módulo.

Módulo 3: Filtrado de arena

El agua ingresa al módulo de filtrado de arena (3) con un volumen aproximado de 9.800 cm³ al desbordarse por la pared (251) del módulo anterior. En la base de este

módulo se encuentra una capa de arena encargada del proceso de filtración física del agua en esta etapa.

La pared (311) y la pared divisoria (41) forman un canal (31), donde el agua fluye hasta alcanzar el nivel del contenedor (31). Cuando el nivel de agua en el canal (31) es suficientemente alto, se produce un nuevo desbordamiento sobre la pared (41), lo que permite la transferencia del agua al último módulo.

Módulo 4: Reservorio

El módulo de reservorio (4) con un volumen aproximado de 8. 253, 8 cm³ funciona como el almacenamiento de agua filtrada del sistema. En su base, dos pendientes dirigen el flujo del agua hacia un agujero (42), por el cual el agua filtrada se descarga, completando el proceso de tratamiento.

Material granular orgánico

El material granular orgánico incluido como medio filtrante para la presente invención se seleccionó del material de desecho agroindustrial presente en la zona en este caso semilla de asaí (*Euterpe precatoria*), aunque se evaluaron del mismo modo otro tipo de semillas, como la procedente del fruto de chontaduro (*Bactris gasipaes*), de palma de canangucha (*Mauritia flexosa*) obteniendo resultados similares. De acá se desprende que el material orgánico resultante puede ser incorporado a partir de cualquier tipo de semilla de palmas en general de la familia de las Arecaceas e incluso semilla de palma africana (*Elaeis guineensis*), las cuales pueden comprender características de adhesión similares, siendo todas subproductos de la fruta de dichas palmas de uso económicamente importante para la región y para el país.

EJEMPLO 1.

Biofiltro de flujo mixto que incluye una baquela recubierta de cobre con flujo horizontal subsuperficial mesurado, en su interior compuesto por pilas rectangulares con una altura que oscila entre los 35 cm además contiene 4 compartimientos rellenos de un material grueso en las zonas de distribución (entrada) y recolección (salida), base trasera y empaque para la conexión de los sensores y botones. Tarjeta electrónica para el monitoreo de la calidad del agua (T, OD, pH, Turbidez).

Sistemas compuestos por lechos filtrantes con 40% de arena, 30% de material orgánico (residuos de asái/semillas) y 10% grava gruesa y fina, donde permiten una mayor retención y sedimentación de los sólidos totales, gracias a su porosidad y diámetro. Sin embargo de acuerdo con los requerimientos del sistema estas condiciones podrían variar de acuerdo con la experimentación propia del proceso de tratamiento. Durante su paso a través de las diferentes zonas el agua residual es depurada por la acción de microorganismos que se adhieren a la superficie del lecho y por otros procesos físicos tales como la filtración.

EJEMPLO 2.

DISEÑO DEL PROTOTIPO

Se llevó a cabo la contabilización del tiempo de llenado, salida, caudal y la medida de sus dimensiones. La figura 4 presenta las dimensiones definidas mediante el siguiente procedimiento.

Se inició la entrada de agua al biofiltro mediante goteo constante desde la parte superior la cual va recorriendo en zigzag (zona 1) y después mediante desbordamiento cada uno de los compartimientos. Una vez se empieza a llenar el biofiltro se contabiliza el tiempo de llenado, eso dio como resultado 28 minutos con 29 segundos y el tiempo de salida nos dio 9 minutos con 28 segundos.

Tabla 1. Dimensiones del biofiltro

Altura	35 cm
Largo	96 cm
Ancho	51 cm
Profundidad	11,8 cm

Por último, se halló el caudal con la siguiente formula $Q = v \text{ (volumen)} / t \text{ (tiempo)}$, para medir esto se requiere de una probeta de 1000 ml la cual se llena y se contabiliza su tiempo de llenado, obteniendo como resultado 12,6 segundos. Seguidamente se calcula el volumen multiplicando su longitud, ancho y largo del biofiltro.

Una vez hallado el volumen y el tiempo se resuelve la siguiente formula $Q = v/t$.

$Q = 1 \text{ L} / 12,6 \text{ segundos} = 0,07 \text{ L/segundos}$.

Como resultado nos da 0,07 L/seg. Que es el volumen de agua que atraviesa en un tiempo determinado

EJEMPLO 3.

RECOLECCIÓN DE MATERIALES

Para la recolección de materiales, grava y gravilla, se realizó un recorrido hasta la vereda de Santa Ana, Puerto Asís, Putumayo.

Lavado de materiales (Arena y grava): una vez recolectados los materiales se procede lavar los para que estos no boten ningún tipo de coloración al momento de suministrar el agua residual al biofiltro.

Construcción del biofiltro y pesaje de materiales: a continuación, se empezó a rellenar con los materiales cada una de las zonas que compone el biofiltro. En la zona 1 se rellena con el material grueso, es decir, que va intercalado con grava, material orgánico y gravilla, en la zona 2 agregamos gravilla y material orgánico y por último en la zona 3 arena.

EJEMPLO 4.

CONSTRUCCIÓN DEL BIOFILTRO

La unidad piloto fue montada con los medios filtrantes seleccionados incorporando el material granular orgánico seleccionado semilla de asaí, en la cual prevalecen los carbohidratos en forma de fibra insoluble, así como una fracción lipídica importante, también se ha identificado cantidades menores de proteínas y micronutrientes, tanto minerales como antioxidantes lo que convierten al subproducto en un material con potencial para desarrollo tecnológico en las diferentes industrias dirigidas al área ambiental, Vásquez, (2021) describe la composición de la semilla de asaí en la siguiente tabla.

Tabla 2. Composición semilla de asaí.

Composición							
Residuo	celulosa	hemicelulosa	lignina	pectina	extraíbles	proteína	cenizas
Semilla de asaí	40.41	23.88	22.65	0.00	7.11	4.86	1.09

Del mismo modo Barbosa et al., (2019) también caracterizó la semilla de asaí con su fibra presente, encontrando la composición que se divulga en la tabla 3.

Tabla 3. Composición semilla asaí

Material	Extractivos (%)	Celulose (%)	Cenizas (%)	Lignina (%)
Residuo de Açai	16,64 ± 0,73	36,13 ± 4,32	1,57 ± 0,02	47,92 ± 4,41

El peso de los materiales filtrantes puede observarse en la tabla 4.

Tabla 4. Peso de los materiales

	Semilla Asai (g)	Grava (g)	Gravilla (g)
1	1750	3480	2400
2	1455	3375	2025
3	1840	3705	2040
4	1400	2345	2105
Total	6445	12905	8570

EJEMPLO 5.

PUESTA EN MARCHA

Se inicio otorgando un ángulo de inclinación a todo el sistema para solucionar la movilidad de fluido, es decir, que el agua se pueda transportar mediante la gravedad a través de un desnivel.

A continuación, se procede a recolectar agua residual a las afueras de las instalaciones del Sena, para hacer su debida caracterización fisicoquímica (tabla 3), para realizar dicho proceso se utilizó un fotómetro de maraca Lovibond modelo SN 16/5885, y posterior al tratamiento del biofiltro modular se analizó la salida de agua o agua tratada.

EJEMPLO 6.

RESULTADOS PROTOTIPO

La tabla 5 permite identificar la caracterización inicial del agua residual evaluado:

Tabla 5. Análisis fisicoquímico elemental inicial del sector piscícola

Análisis	Unidades	Valor T1	Valor T2
pH		7,01	5,53
T	°C	26,69	26,64
P	mmHg	740,3	740,4
%DO		3,3	2,7
mg/L DO		0,26	0,21
Turbidez	FAU	26	63

La Tabla 6 permite identificar la caracterización final del agua tratada.

Tabla 6. Análisis fisicoquímico elemental al final del agua tratada

Análisis	Unidades	Valor T1	Valor T2
pH		7,03	5,78
T	°C	26,67	26,66
P	mmHg	740,3	740,4
%DO		5,8	4,1
mg/L DO		0,56	0,41
Turbidez	FAU	20	51

En estos resultados se observa que la turbidez disminuye considerablemente y el oxígeno disuelto aumenta, lo que permite comprobar que el procedimiento con el biofiltro mejora las condiciones fisicoquímicas del agua. El porcentaje de Oxígeno Disuelto %OD para el tratamiento T1 aumentó de 3,3% a 5,8%, indicando una mejora en la oxigenación del agua y el T2 subió de 2,7% a 4,1%, reflejando la mejora

en la calidad del agua, que se beneficiaron por el diseño de los espejos de agua acondicionados para el diseño de infraestructuras artificiales, para mejorar la oxigenación natural, al estar en contacto directo con el aire, los espejos de agua permiten el intercambio gaseoso, favoreciendo la difusión de oxígeno desde la atmósfera al agua y así aumentar los niveles de oxígeno disuelto y controlar el proceso biológico como la degradación de la materia orgánica.

También se puede resaltar en el diseño, que los espejos de agua, al favorecer el flujo laminar, facilita la sedimentación natural de partículas suspendidas en el agua, reduciendo la turbidez y reduciendo coloides, sólidos suspendidos y contaminantes.

La Temperatura en el proceso se mantuvo, lo que resalta en el diseño la regulación térmica del sistema de tratamiento con espejos de aguas; estabilizan la temperatura al absorber y disipar el calor solar, manteniendo el agua en rangos óptimos para la calidad de agua y los procesos de tratamiento.

Finalmente se resalta que, al ampliar la superficie de agua con los espejos de agua, facilitan la dispersión de sustancias contaminantes, reduciendo concentraciones localizadas a través de la fotodegradación de compuestos orgánicos bajo la acción de la luz solar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Mendes, F. B., Delmondes, K. L., Hasand. D & Barros, J. H. T. (2019). *Economic, Social and Environmental Perspectives on Organic Residues from Brazilian Amazonian Fruits (Acre)*. Newswood Limited, International Association of Engineers.
- Azevedo, A., De Matos, P., Marvila, M., Sakata, R., Silvestro, L., Gleize, P. & De Brito, J. (2021). Rheology, hydration, and microstructure of portland cement pastes produced with ground açaí fibers. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(7). <https://doi.org/10.3390/app11073036>
- Barbosa, A. D. M., Rebelo, V. S. M., Martorano, L. G. & Giacon, V. M. (2019). Characterization of acai waste particles for civil construction use. *Revista Materia*, 24(3). <https://doi.org/10.1590/s1517-707620190003.0750>
- Barrera, J., Carrillo, M., Pena, L., Cardona, J., Orjuela, N., Garcia, L., Castro, S., Hernandez, M. S., Martinez, O. & Giraldo, B. (2020). Growth and development of moriche fruits (*Mauritia flexuosa*) in Guaviare, Colombia. *Acta Horticulturae*, 1299, 141–146. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2020.1299.21>
- Cavalcanti, B. P. B. C., Souza, G. L. de, Benevides Junior, A. Y., Ruschival, C. B., Quirino, M. G. & Castro, D. F. de. (2021). THE USAGE OF THE ACAI STONE AS REINFORCEMENT FOR THE MODELING OF PLANT POLYURETHANE MATRIX COMPOSITE MATERIAL. *MIX Sustentável*, 7(3), 19–28. <https://doi.org/10.29183/2447-3073.mix2021.v7.n3.19-28>
- Da Costa, T. F. F., De Almeida, M. D. C., da Silva, J. A. P., Araújo, L. L., Cardozo, N. S. M. & Santana, R. M. C. (2020). Thermal treatment of açaí (*Euterpe oleracea*) fiber for composite reinforcement. *Polimeros*, 30(1). <https://doi.org/10.1590/0104-1428.09819>
- Farias Paiva Cohen, Lauro Arthur & Silva Santos Nubia Suely. (2021). RESUMO DE TCC: ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DE FIBRAS DE AÇAÍ (EUTERPE OLERACEA

- MART.) COMO MATERIAL TÊXTIL. *MIX Sustentável*, 8(1), 168–169. <https://doi.org/10.29183/2447-3073.mix2022.v8.n1.168-169>
- Ines Guerra Cala, R. (2021). *Estudio del aprovechamiento del residuo sólido de semilla de açaí (Euterpe Precatoria Mart.) en la industria química*.
- Lustosa, T. N. M., Vargas, J. A. C., Lustosa, J. L., da Silva, B. P., Soares, A. S., Santos, V. F. S., Gomes, D. I., Alves, K. S., Oliveira, L. R. S., Maciel, R. P. & Mezzomo, R. (2022). Açai seed as an additive in *Panicum maximum* cv. Mombasa ensiling for ruminant nutrition: An alternative to reduce environmental pollutants. *Cleaner Waste Systems*, 3. <https://doi.org/10.1016/j.clwas.2022.100035>
- Monteiro, A. F., Miguez, I. S., Silva, J. P. R. B. & Silva, A. S. A. da. (2019). High concentration and yield production of mannose from açai (*Euterpe oleracea* Mart.) seeds via mannanase-catalyzed hydrolysis. *Scientific Reports*, 9(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-47401-3>
- Negrão, A. G., Moura, A. G. A. F., Azevedo, R. C. M., Rodrigues, E. R. P. & Pinheiro, T. M. dos S. (2021). Mapeamento do descarte irregular do caroço do açai no bairro do Jurunas no município de Belém/PA / Mapping the irregular disposal of the açai seeds in the Jurunas neighborhood in the municipality of Belém/PA. *Brazilian Journal of Development*, 7(6), 63284–63294. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n6-620>
- Vásquez, T. P. A. (n.d.). *Evaluación de métodos de clustering aplicados a datos de composición de biomasa vegetal*.

REIVINDICACIONES

1. Un biofiltro modular de flujo mixto para tratamiento de aguas que comprende un módulo de desaceleración y reducción de turbulencia (1), un módulo de espejo de agua y filtración orgánica (2), un módulo de filtrado de arena (3) y un módulo de reservorio (4) que funciona como el almacenamiento de agua filtrada del sistema, los cuales trabajan conjuntamente garantizando un flujo secuencial controlado del agua.
2. El biofiltro de la reivindicación 1 caracterizado porque dicho biofiltro comprende una ranura (111) que dirige el flujo de agua hacia el compartimiento (11), donde el compartimiento 11 está conectado con un compartimiento (12) mediante un conducto (112) ubicado en la parte inferior izquierda de la pared divisoria del compartimiento (11), donde el compartimiento (12) está conectado con el compartimiento (13) mediante un segundo conducto (121) situado en la parte inferior derecha del compartimiento (12), y donde dicho compartimiento (13) se conecta con el compartimiento (14) a través de un tercer conducto (131) en la base del compartimiento (13), ubicado en la esquina inferior izquierda del compartimiento (13) y donde los compartimientos (11), (12), (13) y (14) están dispuestos en orden descendente, con el compartimiento (11) en la posición más elevada y el compartimiento (14) en la más baja, garantizando un flujo continuo de agua y evitando estancamientos dentro del módulo.
3. El biofiltro de la reivindicación 2 caracterizado porque las paredes divisorias presentan perforaciones estratégicas que optimizan la circulación del agua.
4. El biofiltro de la reivindicación 2 o 3 caracterizado porque el lecho del primer módulo está compuesto por material granulado, con piedras que disminuyen de tamaño, de 4 cm a 1,5 cm, a medida que se desplazan hacia el fondo de los compartimientos.
5. El biofiltro de cualquiera de las reivindicaciones precedentes caracterizado porque el módulo de espejo de agua y filtración orgánica (2) comprende un

compartimiento (21) que funciona como un espejo de agua, el cual compartimiento está delimitado por una pared vertical (141) y una pared inclinada (211) que en conjunto con una pared paralela (221) forma un canal (22) que permite el flujo de agua por dicho canal hacia un contenedor (23)

6. El biofiltro de cualquiera de las reivindicaciones precedentes caracterizado porque el contenedor (23), está conectado con el contenedor (25) a través de una ranura (24) ubicada en la base de la pared (241).
7. El biofiltro de la reivindicación 6 caracterizado porque los contenedores (23) y (25) comprenden un lecho filtrante e compuesto por grava y residuos de material granular orgánico en un 30%.
8. El biofiltro de cualquiera de las reivindicaciones precedentes caracterizado porque comprende una pared divisoria entre el contenedor final (25) del Módulo de espejo de agua y filtración orgánica (2) y el módulo de filtrado de arena (3) por donde se desborda el agua.
9. El biofiltro de la reivindicación 8 caracterizado porque entre la pared divisoria (311) del módulo de filtrado de arena (3) a la pared divisoria (41) del módulo de reservorio (4) forman un canal (31), donde el agua fluye hasta alcanzar el nivel del contenedor (31).
10. El biofiltro de cualquiera de las reivindicaciones precedentes caracterizado porque en el módulo de reservorio (4), el agua se almacena en un tanque con pendientes en la base que dirigen el flujo del agua hacia un agujero de salida (42), desde donde el agua tratada es descargada, completando el proceso de tratamiento.

RESUMEN

El biofiltro modular de flujo mixto que consta de cuatro módulos secuenciales que trabajan de manera integrada para reducir la turbulencia, mejorar el flujo del agua y optimizar el proceso de filtración. Cada módulo tiene una función específica en la purificación del agua residual, permitiendo la sedimentación de sólidos, la reducción de contaminantes y la acumulación de material orgánico en su lecho filtrante.